

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

**Studium vzniku skládkového plynu a možnosti jeho
využití v praxi**

**The research of the generation of landfilled gas and the
opportunities its exploitation in practice**

Autor:

Štěpán David

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.

Ostrava 2009

Zadání bakalářské práce

Student: **Štěpán David**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904R022 Zpracování a zneškodňování odpadů
Téma: Studium vzniku skládkového plynu a možnosti jeho využití v praxi.

The research of the generation of landfilled gas and the opportunities its exploitation in practice.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Současný stav skládkování v ČR.
4. Anaerobní rozklad a vznik skládkového plynu.
5. Využití skládkového plynu.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

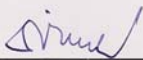
Vlastimil Altman, Miroslav Růžička: Technologie a technika skládkového hospodářství, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996, ISBN: 80-7078-355-9
Michal Dohányos, Jana Zábranská, Pavel Jeníček: Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí, Ministerstvo životního prostředí ČR, 1996, ISBN: 80-85368-90-0
Eder B., Schultz H.: Bioplyn v praxi, Praha:HEL, 2004, ISBN: 80-86167-21-6

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

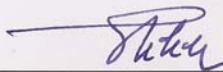
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2008

Datum odevzdání: 30.04.2009



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literatury.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci použít (§35 odst.3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v závěru mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat takový příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě

.....
Štěpán David

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

Obsah

Zadání bakalářské práce

Prohlášení

Obsah

Anotace bakalářské práce

Summary of the bachelor thesis

1. Úvod.....	8
2. Základní pojmy.....	8
3. Skládkování	10
4. Isolace.....	12
5. Historie bioplynové techniky.....	14
6. Anaerobní rozklad.....	15
7. Bioplyn.....	16
8. Bakterie.....	18
9. Methanogenní bakterie.....	18
10. Výskyt a životní nároky bakterie.....	19
11. Druhy methanogenních organismů.....	20
11.1 Klasifikace druhů čeledí.....	20
12. Podmínky a vznik bioplynu.....	23
13. Průběh vzniku methanu.....	24
13.1 Fáze aerobní.....	24
13.2 Fáze kyselinotvorná.....	25
13.3 Fáze nestabilní.....	26
13.4 Fáze stabilní.....	27
14. Složení skládkového plynu.....	28
14.1 Vlastnosti bioplynu.....	30
14.2 Skladování.....	31
15. Tvorba bioplynu ve skládce TKO.....	32
15.1 Metody průzkumu skládek	32
15.2 Předběžný povrchový průzkum polní čerpací test.....	35
15.3 Jímání.....	37
15.4 Čištění.....	38
15.5 Kogenerace.....	38
15.6 Motory.....	39
16. Závěr.....	40
17. Literatura.....	41
18. Seznam zkratk.....	44

Anotace

Cílem bakalářské práce je představit možnost jímání bioplynu ze skládek tuhých komunálních odpadů a jeho následné využití v dnešní praxi, příp. popsat nové technologie a trendy jeho využití. Popsat stručný přehled problematiky vzniku skládkového plynu na skládkách. V této práci chci popsat místa výskytu, podmínky vzniku, proces, princip fungování jímání a obecně bioplyn a jeho vliv na životní prostředí. Také stručně popsat povinnosti a princip skládkování TKO, základní fáze vzniku bioplynu a procesy probíhající na skládkách.

K popisu této problematiky jsem využil zejména odbornou literaturu, kterou uvádím na konci bakalářské práce. K rozšíření obzoru jsem používal rešerše z internetu. Doplněné obrázky v mé publikaci jsou většinou z amerických serverů, zabývající se touto vědní disciplínou.

Summary

The goal of this bachelor thesis is to present the opportunity in collection of biogas from the municipal waste landfills and his subsequent usage in today's practice, eventually to describe new technologies and trends in his usage. To briefly describe the overview of the problematic of landfill gas development on the landfills. In these work I want to describe the places of presence, conditions of development, process, and principles of the function of collection and generally biogas and his influence on the environment. I want also generally describe the duties and principles of municipal waste disposal, the basic phases of biogas development and the processes which go on at the landfill.

For the description of this problematic I mostly used technical bibliography, which is featured at the end of the bachelor thesis. To widen my scope I used researched the internet. The by given pictures are usually from the U.S. internet pages, which are involved with this problematic.

1. Úvod

Moderní, industrializovaná společnost se ve stále větší míře potýká s problémem odpadů. Komunální i průmyslové odpady jsou produkovány v čím dál větším množství. Přitom ale nejde jenom o jejich objem, nýbrž jde i o stále větší agresivitu vůči životnímu prostředí. V současné době se v ČR největší objem odpadů skládkuje. Následné jímání a využití skládkového plynu není pouze ekonomicky výhodné, ale je zároveň i řešením, které zamezuje úniku skládkového plynu do okolního prostředí se všemi negativy tohoto jevu.

V posledních letech se setkáváme stále více s pojmem bioplyn, který zahrnuje i skládkový plyn, vznikající odumíráním organických hmot a následně vznikem methanogenních bakterií. Vznik bioplynu není žádným novodobým prvkem, nýbrž tento plyn je zde od samého začátku existence světa. S bioplynem se můžeme setkat v močálech, na spodní hladině moří a oceánů, rýžových polích a mnoha dalších místech. V dnešní době probíhá zejména diskuze o tzv. globálním oteplování, jeho průvodních jevech a příčinách a methan je jedním ze skleníkových plynů. Musíme si však uvědomit, že veškeré hnilobné procesy provázejí biosféru již od pradávna. Tento problém ale není předmětem mé práce.

Využívání bioplynu jako součást energetiky a úžeji specifikováno jako využívání obnovitelných zdrojů se stalo dokonce jedním z předních témat dnešního politického dění jak v České republice, tak v celé Evropské unii..“

Jeden z důvodů jeho využívání je, že fosilní paliva, která jsou nyní hlavním zdrojem pro výrobu elektrické energie se určitě jednou vyčerpají. – pokud nebudou nalezeny další významná naleziště. Ať jsou prognózy jakékoliv, tento okamžik dříve či později nastane. Druhý důvod proč dochází k přechodu na využitelné zdroje energie je, že alternativní zdroje jsou vůči životnímu prostředí šetrnější. A třetí z těch nejvýznamnějších aspektů je, že zdroje fosilních paliv jsou stále složitěji dostupné a tím už ne tak finančně výhodné oproti těm druhotným, mezi které patří i plyn ze skládek.

2. Základní pojmy

Inertní odpad – odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádné významné fyzikální, chemické nebo biologické

přeměně. Inertní odpad nehoří, ani jinak fyzikálně či chemicky nereaguje, ve vodě se snadno nerozpouští, nepodléhá biologickému ani chemickému rozkladu, ani nezpůsobuje rozklad jiných látek, s nimiž přichází do styku způsobem, který by mohl vést k poškození životního prostředí či k ohrožení lidského zdraví. Koncentrace škodlivin ve výluhu a v sušině tohoto odpadu nesmí překročit žádný z ukazatelů stanovených pro skládky skupiny S-inertní odpad. Směsné odpady se nepovažují za odpad inertní.

Biologicky rozložitelný odpad – jakýkoli aerobně nebo anaerobně rozložitelný odpad.

Stabilizace odpadu – technologie úpravy odpadu, spočívající ve využití fyzikálních, chemických nebo biologických postupů, vedoucích k trvale omezenému uvolňování škodlivin z odpadu do jednotlivých složek životního prostředí v souladu s požadavky tohoto i zvláštních právních předpisů,

Skládkový plyn – plyn, který se vyvíjí z odpadu uloženého na skládce biologickými i chemickými pochody.

Zařízení – skládky, povrchové doly, lomy, pískovny a další místa na povrchu terénu kde jsou odpady využívány k zasypávání, rekultivacím a jiným povrchovým úpravám.

Sektor skládky – místně vymezená část skládky, která slouží k ukládání odpadů srovnatelných svým původem, složením a vlastnostmi, a která svým technickým provedením zabezpečí oddělené ukládání těchto odpadů uvnitř jedné skládky a zabrání kontaktu, případně smíchání odpadů uložených v jednotlivých sektorech skládky po celou dobu jejich uložení.

Skládka odpadů – technické zařízení určené k odstraňování odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi nebo do země.



Obr. 1: Skládka Fresh Kills ve státě New York. Otevřena 1948. Kdysi největší skládka na světě. Ve 2. pol. 20. st. byla hlavní skládkou New York City. Je 12 km² velká. V době nejaktivnějšího skládkování bylo na ní přiváženo 650 tun odpadu denně. Uzavřena 22.3.2001. Nyní se transformuje na rekreační park s vícestranným využitím.

Zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/Fresh_Kills_Landfill

3. Skládkování

Je nejvíce používanou a zároveň nejtradičnější metodou zbavování se odpadu., přičemž je zároveň posledním článkem v řetězci likvidace odpadů.

Skládka: technické zařízení určené k odstraňování odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi nebo do země. Tato zařízení musí respektovat při ukládání odpadů několik hledisek:

- hygienické
- geologické
- hydrogeologické
- geomechanické
- ekologické

Skládka by měla být technicky zabezpečená, aby nenarušovala reliéf okolní krajiny a odolávat vůči mechanickým, fyzikálním, chemickým a biologickým vlivům.

Technické požadavky na skládky:

Veškeré požadavky (umístění, zabezpečení provozu, těsnění, monitoring, uzavření a rekultivace, které jsou kladeny na skládky musí odpovídat těmto technickým normám:

- ČSN 83 8030 Skládání odpadů – Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek
- ČSN 83 8032 Skládání odpadů – Těsnění skládek
- ČSN 83 8033 Skládání odpadů – Nakládání s průsakovými vodami ze skládek
- ČSN 83 8034 Skládání odpadů – Odplynění skládek
- ČSN 83 8035 Skládání odpadů – Uzavírání a rekultivace skládek
- ČSN 83 8036 Skládání odpadů – Monitorování skládek
- ČSN 83 8039 Skládání odpadů – Provozní řád skládek

Skládka musí být opatřena z technického hlediska:

1. systémem těsnění
2. systémem odvodnění a odplynění
3. monitorovacím systémem
4. podklady pro následné uzavření skládky a její rekultivaci

Z provozního hlediska musí být skládka vybavena:

1. technickými prostředky umožňujícími příjem odpadů
2. manipulačními a skládkovými prostory
3. oklepovou a mycí rampou
4. obslužnými komunikacemi
5. inženýrskými sítěmi (rozvod elektrické energie, přívodem vody)
6. provozní budovou a sociálním zázemím
7. oplocením objektu skládky
8. informační tabulí čitelnou z volně přístupného prostranství před zařízením, na níž jsou uvedeny základní informace:
 - název zařízení
 - druhy a podskupiny odpadů podle Katalogu odpadů, které je možné v zařízení odstraňovat

- obchodní firma nebo název včetně adresy
- správní úřad, který vydal souhlas k provozování zařízení
- provozní doba zařízení

Rozmístění skládek ostatních odpadů (S-OO) na mapě krajů ČR



Obr. 2: Místa skládek v České republice.

Zdroj: ceho.vuv.cz/CeHO/CeHO/Skladky_odpadu/Skladky

4. Isolace

Skládky rozlišujeme na několik typů podle ukládaného druhu odpadu. Do povrchů, které nejsou izolované lze ukládat pouze odpad inertní (výkopovou zeminu, čistou stavební suť, slinutou škváru). Všechny ostatní odpady, a to se týče i neslinuté škváry ze spalování odpadu, musí být na skládce dokonale izolovány. Jinak by docházelo ke kontaminaci spodních vod. Isolace skládky se dělá buď jednoduchá anebo dvojí (sendvičová).

Zvolená varianta obvykle závisí jednak na druhu odpadu, ale především na místních podmínkách. Nejvíce je třeba dávat pozor při skládkách hraničících se spodními vodami anebo pod její úrovní. V těchto případech je nutné zvolit zdvojený systém nezávislého odvodnění. Tzn. spodní vody musí být tak odvedeny, aby jejich tlakem nemohla být zdola narušena izolace. Zcela odděleně jsou zpracovány a sesbírány nad izolací průsakové vody z odpadu. Nejlepší je, když je jejich vracením zpět do odpadu skládka opět zvlhčována. Narůst vlhkosti podporuje biologický rozklad a rozvoj methanogeneze. Přebytky průsakových vod se můžou čistit ve speciálních čističkách nebo se přečerpávají do kanalizačních systémů napojených na městské čistírny, popř. jsou skládky řešeny uzavřeným vodním systémem.

Isolace jsou dvojího typu: jílové a fóliové.

O jílovém panují domněnky, že vyjde finančně levněji. Odborníci se ale shodují, že na tuto otázku je těžké odpovědět. Je potřeba velké množství jílu a náklady na dopravu v dnešní době mohou vyšplhat do závratných výšek. K tomu ještě vyžaduje tato technologie perfektně zpracovaný materiál a provedení hutněné isolační vrstvy. Přitom, co do účinnosti, tato izolace ani nedosahuje parametrů foliových izolací.

Foliová izolace je sice finančně náročnější, ale při správném technologickém postupu je spolehlivější. Pro tento typ izolace se vyrábějí folie v šířkách 6 i více metrů a tloušťkách od 0,5 do 10mm. Pro dna skládek jsou folie hladké. Pro šikmé stěny se používají folie oboustranného rýhování nebo s malými výběžky, aby materiál po svahu neklouzal.

Vysoké spolehlivosti se dosahuje použitím vícevrstevných izolací, přičemž nejde o pouhé pokládání izolací na sebe, protože při poškození v jednom místě by mohlo dojít k protrhnutí obou vrstev. Většinou se jedná o izolaci dvou vrstev proloženou kontrolní drenážní vrstvou. Tuto izolaci však není jednoduché namontovat. Drenážní vrstva musí být vodotěsně a plynotěsně dělena do sekcí, aby bylo možné závadu svrchní izolace lokalizovat.

Nejspolehlivější izolací je kombinace těchto dvou typů. Tzn. jílová izolace je překryta folií a při sebemenším přetržení folie přebírá těsnící funkci jílová vrstva. Na konec se ještě na poslední isolační vrstvu klade drenážní vrstva, která je chráněna proti zanesení vrstvou filtrační, která je nejčastěji ve vodopropustné geotextilní podobě. Teprve potom se na tyto vrstvy ukládá tříděný anebo alespoň drcený odpad po kterém pak už mohou projíždět vozidla a kompaktory.

Rozhrnování a zakládání odpadu je třeba provádět okamžitě po jeho složení. Hutnění se provádí po lávkách nejvýše 2 metrů vysokých. Skládka se zaváží zdola nahoru a dbá se o udržení co nejmenší přesypové hrany. Nejlepší je, když jsou přesypové hrany zcela odstraněny a kompaktor může odpad vyhrnovat po šikmém svahu vzhůru. Tímto způsobem je těleso skládky nejlépe hutněno, čímž dochází k zamezení přístupu vzduchu do skládky. To je dobrý předpoklad pro minimalizaci vzniku aerobních procesů, které bývají doprovázeny zápachem v okolí skládky.



Obr. 3: Pokládání izolační vrstvy na skládce Fresh Kills ve státě New York při současném zahájení vrtných prací.

Zdroj: <http://wastemanagement.com>

5. Historie bioplynové techniky.

Jako první se výzkumem bioplynu začal zabývat italský přírodovědec Alessandro Volta. Kolem roku 1770 jím na severu v italských horách bahenní plyn a zkoušel jej spalovat. Dalším průzkumníkem v této oblasti byl anglický vědec Faraday, který identifikoval bahenní plyn jako uhlovodík.

Až v roce 1821 se Avogadrovi z plynu z kejdy podařilo sestavit chemický vzorec pro metan (CH_4).



Obr. 4: Alessandro Volta

Zdroj: www.arthistoryclub.com/.../8/83/Alevolta42.jpg

Dále v roce 1844 bylo navrženo francouzským vědcem Pasteurem zařízení na využívání koňského hnoje k osvětlení pařížských ulic. V 19. století zažil anaerobní vyhnívací proces prudký boom, když se zjistilo, že se tímto způsobem dají čistit odpadní vody. Další průlom byl dosažen v roce 1897, kdy v indické Bombaji bylo zřízeno první sanatorium, které bylo osvětlováno bioplymem.



Obr. 5: Louis Pasteur

Zdroj: www.gardenofpraise.com/images/pasteur.jpg

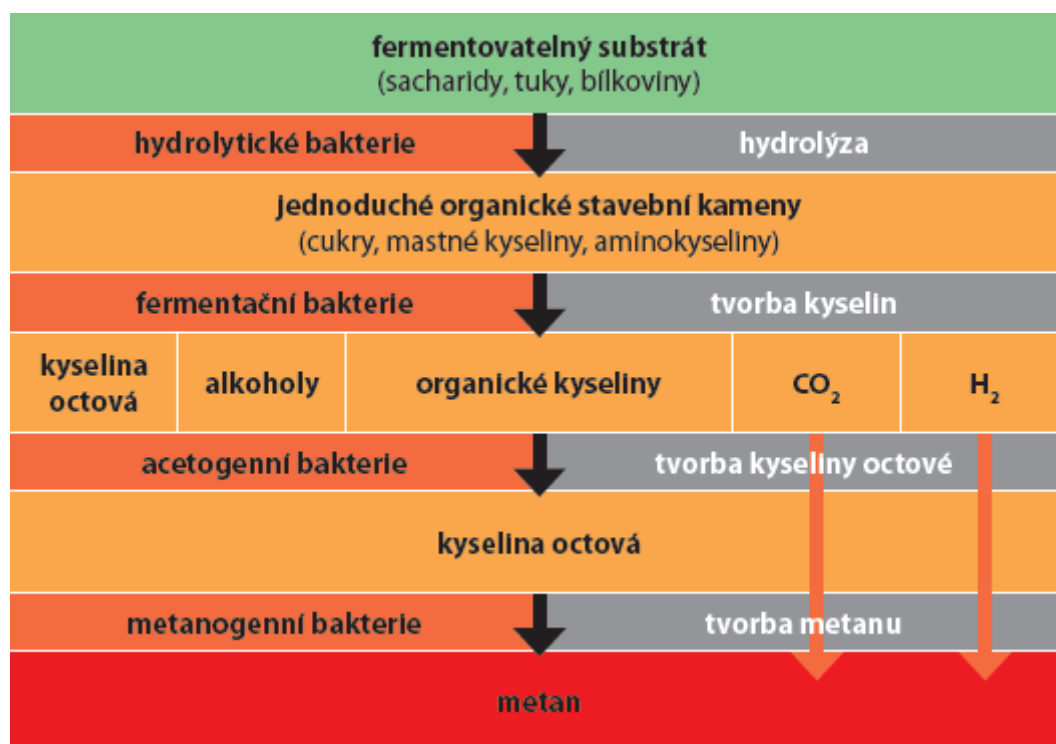
Na začátku 20. století, přesně v roce 1906, začal německý vědec Imhoff se systematickou výstavbou čističek odpadních vod na bázi anaerobního principu.

V roce 1907 se začal bioplyn používat ve speciálních motorech pro výrobu elektrického proudu. Poté už se začalo se zdokonalováním vyhnívacího procesu např. přidáváním tuku z lapačů tuků, odpadu ze sladkého dřeva, obsahu bacheru přežvýkavců, ligninu nebo rostlinného odpadu.

6. Aerobní rozklad

Je série procesů ve kterém mikroorganismy rozkládají biologicky odbouratelný materiál bez přístupu kyslíku. Vznikající plyn, např. na skládkách, se dá jednak energeticky využít, jednak není vypouštěn do ovzduší, kde se podílí na skleníkovém

efektu. Proces po uskladnění materiálu začíná hydrolýzou, která materiál rozkládá na uhlovodíky, kterými se živí bakterie. Kyselinotvorné bakterie poté přeměňují cukry a aminokyseliny na oxid uhličitý, vodík, amoniak a organické kyseliny. Následně octotvorné bakterie vytvoří acetáty, oxid uhličitý a vodík. Teprve potom všem methanové bakterie v alkalickém prostředí vytvoří metan, oxid uhličitý a vodu.



Obr. 6: Postup procesů probíhajících ve skládkách až do vzniku methanu.
Zdroj: <http://www.schaumann.cz/bioplyn/postup-vyroby>

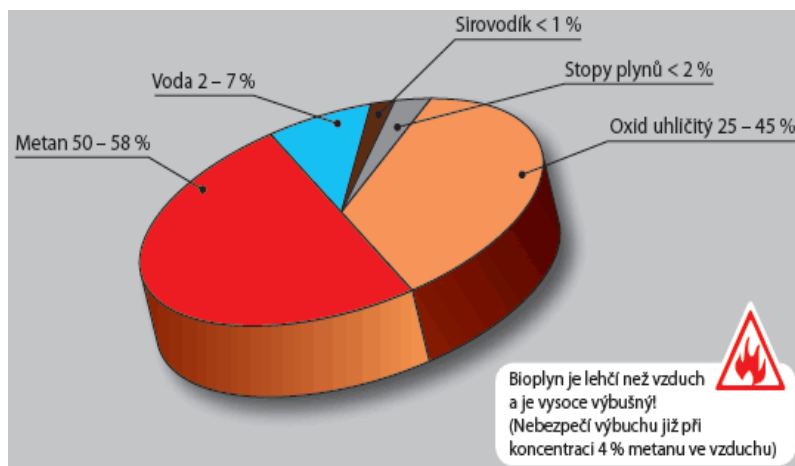
7. Bioplyn

Bioplyn vzniká převážně biologickým rozkladem organických hmot bez přítomnosti kyslíku. Je to druh biopaliva.

Jeden druh bioplynu je produkován anaerobním rozkladem nebo fermentací biodegradabilními materiály jako je biomasa, hnůj nebo kejda, dále komunálním odpadem, zeleným odpadem a energetickými plodinami. Tento druh bioplynu zahrnuje zejména metan a oxid uhličitý.

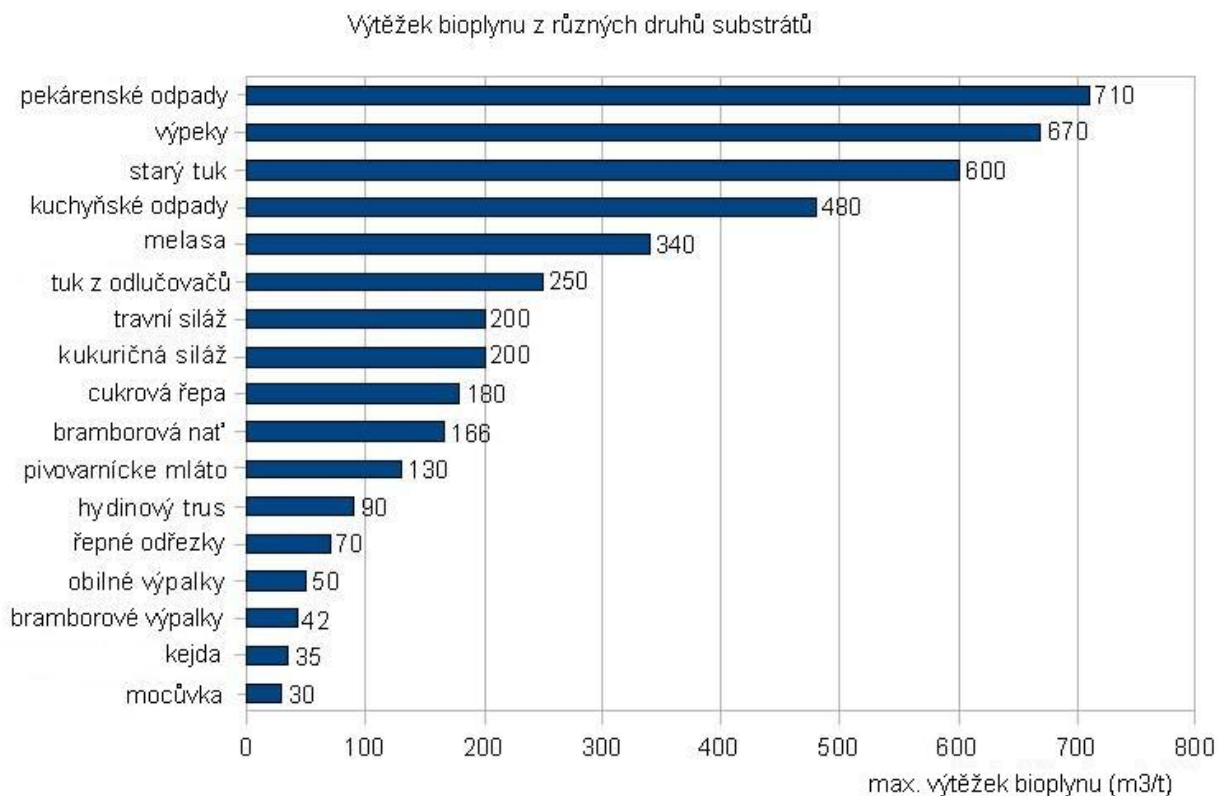
Bioplyn může být použit jako nenákladné palivo pro účely vytápění nebo vaření téměř ve všech zemích. Může být také použit v moderním zařízení dnešního odpadovém

hospodářství, kde pohání různé typy topných motorů, které generují buď mechanickou nebo elektrickou sílu.



Obr. 7: Procentuální složení bioplynu vzniklého na skládce.

Zdroj: <http://www.schaumann.cz/bioplyn/postup-vyroby/>



Obr. 8: Na obrázku je vidět kolik různé odpady produkují bioplynu

Zdroj: www.bioodpady.sk/files/graf-vytazok-bioplynu.jpg

8. Bakterie

(*Bacteria*, dříve též *Bacteriophyta* či *Schizomycetes*), nebo také eubakterie (*Eubacteria*), je doména jednobuněčných prokaryotických organismů. Mívají kokovitý či tyčinkovitý tvar a zpravidla dosahují velikosti v řádu několika mikrometrů. Studium bakterií se zabývá bakteriologie, významně tuto vědu rozvinuli Robert Koch a Louis Pasteur.

Typickou součástí bakteriálních buněk je peptidoglykanová buněčná stěna, jaderná oblast (nukleoid), DNA bez intronů, plazmidy a prokaryotický typ ribozomů. U bakterií se nevyskytuje pohlavní rozmnožování, namísto toho se nejčastěji dělí binárně. Bakterie jsou nejrozšířenější skupinou organismů na světě. Dříve se druhy bakterií klasifikovaly podle vnějšího vzhledu, dnes jsou moderní zejména genetické metody. Díky nim se rozlišuje asi 25 základních kmenů bakterií.

Bakterie mají velký význam v planetárním oběhu živin a mnohdy vstupují do oboustranně prospěšných svazků s jinými organismy. Mnohé patří mezi komenzálické druhy, které žijí například v lidské trávicí soustavě. Na druhou stranu je známo i mnoho patogenních bakterií, tedy druhů, které způsobují infekce. I člověk mnohé z bakterií využívá, například v potravinářském a chemickém průmyslu. Vědci využívají bakterie ve výzkumu.

9. Methanogenní bakterie

Anaerobní chemolithotrofní bakterie (nejčastěji archae). Redukcí oxidu uhličitého vodíkem ($\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$) získávají energii, kterou ukládají do ATP v procesu anaerobní respirace. Žijí ve společenstvích s jinými typy bakterií, které produkují pro ně potřebný vodík. Využívají se při výrobě bioplynu.

Zdroj: vydavatelstvi.vscht.cz

10. Výskyt a životní nároky bakterie

Bakterie jsou nejrozšířenější skupinou organismů na světě. Celkově se odhaduje, že na Zemi žije asi 5×10^{30} (jedinců) bakterií. Celkový počet druhů se dá jen tušit, odhady sahají od 10^7 k 10^9 druhů. Bakterie je možné nalézt v půdě, vodě, ovzduší i jakožto symbionty uvnitř a na povrchu mnohobuněčných organismů. V jednom gramu půdy žije asi 40 miliónů bakterií, v jednom mililitru sladké vody je jich přibližně milion. Jsou však známy i druhy, které se specializují na prostředí, kde by ostatní organismy mohly přežívat jen stěží (vroucí voda v sopečných jezerech, nejvyšší vrstvy atmosféry a podobně). Některé druhy bakterií jsou dle výzkumů schopny přežít i ve vesmíru, tedy ve vakuu a o teplotě $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Bakterie však mají různé požadavky na prostředí v němž žijí, významným hlediskem je teplota, kyselost a množství kyslíku. Podle teplotního optima se bakterie dělí na psychofilní (do $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), mezofilní ($20\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$), termofilní ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a více) a případně též hypertermofilní s optimem kolem $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na základě kyselosti rozlišujeme alkalofilní (v zásaditém prostředí), neutrofilní (v \pm neutrálním prostředí s pH 6-8) či acidofilní (v kyselém prostředí). Dalším významným hlediskem je vztah ke kyslíku. Aerobní bakterie (př. *Mycobacterium*) vyžadují kyslík v atmosférické koncentraci, mikroaerofilní (*Lactobacillus*) v koncentraci velmi nízké (cca 2 %), většina bakterií však patří mezi fakultativně anaerobní, které rostou lépe v přítomnosti kyslíku, ale dokáží růst i bez něho. Na okraji tohoto spektra jsou striktně anaerobní druhy, které žijí jen v prostředí bez kyslíku (většina druhů rodu *Clostridium*). Z dalších limitujících činitelů je možno zmínit vlhkost (většina je vlhkomilných, suchomilné jsou nokardie či aktinomycey), hydrostatický tlak (z hlubokých moří známe i barofilní bakterie), osmotický tlak (především v závislosti na množství solí), a podobně.

Zdroj: Wikipedia

11. Druhy methanogenních mikroorganismů

Methanogenní organismy jsou fyziologicky dost unikátní, ať jde o jejich výběr energetických zdrojů anebo o jejich vysoké nároky na anaerobní prostředí. Seběmenší přítomnost kyslíku, ať jen v nepatrném množství, naprosto naruší celý proces methanizace v mnohem menších časech než u jakýchkoliv jiných anaerobních společenstev.

Teprve nedávno se zjistilo, že methanogenní bakterie mají daleko užší výběr zdroje energie. Schopnost těchto bakterií přežít je úzce spjata se symbiózou s jinými populacemi. Nejčastěji acidogenními bakteriemi, které zpracovávají substrát daleko rychleji.

Stabilizovaná fáze je pak vlastně zpomalení zpracovávání substrátu acidogenních bakterií až do rovnovážného stavu, kdy pomalejší methanogenní bakterie jsou schopny vstřebávat produkt jejich látkové výměny.

Methanogeny pravděpodobně zpracovávají jenom substráty jako: vodík, CO₂, formiát, acetát, methanol a CO. Produkty jako etanol a mastné kyseliny jsou předzpracovávány jinými než methanogenními kulturami.

11.1 Klasifikace čeledi methanogenů

Čeď: Methanobacteriaceae

Je tvořena 3 rody:

- Methanobacterium
- Methanosarcina
- Methanococcus

1. Rod *Methanobacterium*

Získává růstovou energii redukcí CO_2 na CH_4 s pomocí vodíku nebo někdy formiátu. Obsahuje mesofily až extrémní termofily. Jeho druhy jsou:

1.1 *Methanobacterium soehngenii*

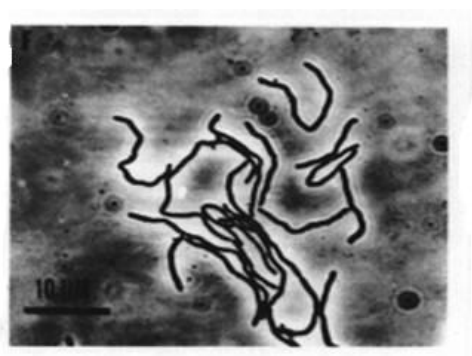
Druh, který byl popsáný N.L. Soehngenem fermentuje octany a másly na methan a CO_2 . Jelikož tento druh nebyl nikdy nalezen v čisté podobě, vedou se pochybnosti o jeho přímé konzumaci mastných kyselin.

1.2 *Methanobacterium formicium*

Metabolismus těchto bakterií využívá redukci CO_2 vodíkem nebo mravenčanem. Teplotní růstové optimum tohoto druhu leží mezi $38 - 45^\circ \text{C}$, přičemž růst naprosto ustává při 55°C .

1.3 *Methanobacterium thermoautrophicum*

Získává energii redukcí CO_2 na metan vodíkem.



Obr. 9: Bakterie *Methanobacterium thermoautrophicum*

Zdroj:

http://web.mst.edu/~microbio/BIO221_2002/Methanobacterium_thermoautotrophicum.htm

Růstová optima: pH 7,2 – 7,6
teplota $65 - 70^\circ \text{C}$

Meze aktivity: pH 6,0 – 8,8
teplota $40 - 75^\circ \text{C}$

1.4 Methanobacterium ruminantium

Získává energii na metan s pomocí vodíku nebo formiátu, který může současně sloužit i jako zdroj uhlíku. Je přísný anaerob, který dokáže být narušen i koncentrací kyslíku o množství 0,016 % obj.

Teplotní růstové optimum:	37 – 43° C
Teplotní meze aktivity:	33 - 47° C
Meze pH:	6,0 – 8,0

Tento druh je široce rozšířen v přírodě a jako jediný byl objeven v zažívacím traktu člověka.

1.5 Methanobacterium mobile

Redukuje CO₂ na metan vodíkem nebo mravenčanem.

Teplotní optimum:	40° C
Teplotní meze pro pomalý růst:	30 – 45° C
Teplotní meze krajní:	28 – 50° C
Optimální pH:	6,1 – 6,9
Meze pH pro pomalý růst:	5,9 – 7,7

2. Rod Methanosarcina

Získává energii tvorbou metanu z acetátu, metanolu nebo CO. Při redukci metanolu využívá vodík. Růstová optima jsou mezi 30 – 37° C. Tento rod obsahuje zatím dva druhy, které jsou si vzájemně hodně podobné. Nevylučuje se dokonce ani jejich identita.

2.1 Methanosarcina methanica

Využívá jako zdroj energie acetát. Nikdy nebyl získán v čisté podobě.

2.2 *Methanosarcina barkeri*

Druh využívající k redukci CO_2 na methan vodík.

3. Rod *Methanococcus*

Získává energii redukcí CO_2 na methan vodíkem, nebo zpracovává formiát, acetát anebo butyrát. Mezi tento rod patří:

3.1 *Methanococcus mazei*

Tento druh nebyl nikdy získán v čisté formě. Zpracovává acetát nebo butyrát na směs CO_2 a CH_4 .

3.2 *Methanococcus vannielii*

Tento druh zpracovává mravenčany, ale v některých podmínkách i vodík a CO_2 .

Rozmezí prosperity: 30 – 40° C

pH: 7,4 – 9,2

12. Podmínky a vznik bioplynu.

Tento proces startuje zcela samovolně, ale jen za určitých podmínek:

1. vlhké prostředí:

Methanogenní bakterie potřebují pro své působení vlhké prostředí. Při vysychání tělesa skládky methanogenní bakterie zpomalují činnost. Při dalším omezování vlhkosti bakterie přestávají methan produkovat a v nejhorším případě mohou zcela zaniknout.

2. anaerobní prostředí:

Vznik a činnost těchto bakterií je možná jedině bez přítomnosti kyslíku. Kyslík bakterie a proces naprosto zastaví.

3. zabránění přístupu světla:

Přísun světla proces zpomalí nebo zastaví. Nedochází ale k úplnému zániku bakterií.

4. stálá teplota

Teplota pro působení methanogenních bakterií je 0-70°C. Některé bakterie jsou schopny přežít a vyvíjet činnost až do 90°C, to je ale maximum. Poté bakterie umírají. Co se týče teplot nižších než 0°C, ty proces zastavují. K pokračování dochází opět od fáze kde byl proces tzv. zmražen. Tzn. jakmile teplota stoupne nad bod mrazu.

5. hodnota pH

Hodnota pH se v průběhu procesu mění. Je v rozmezí 6,5-7,8.

13. Průběh vzniku metanu

Bioplyn je produktem látkové výměny methanových bakterií. Je rozdělen do čtyř fází:

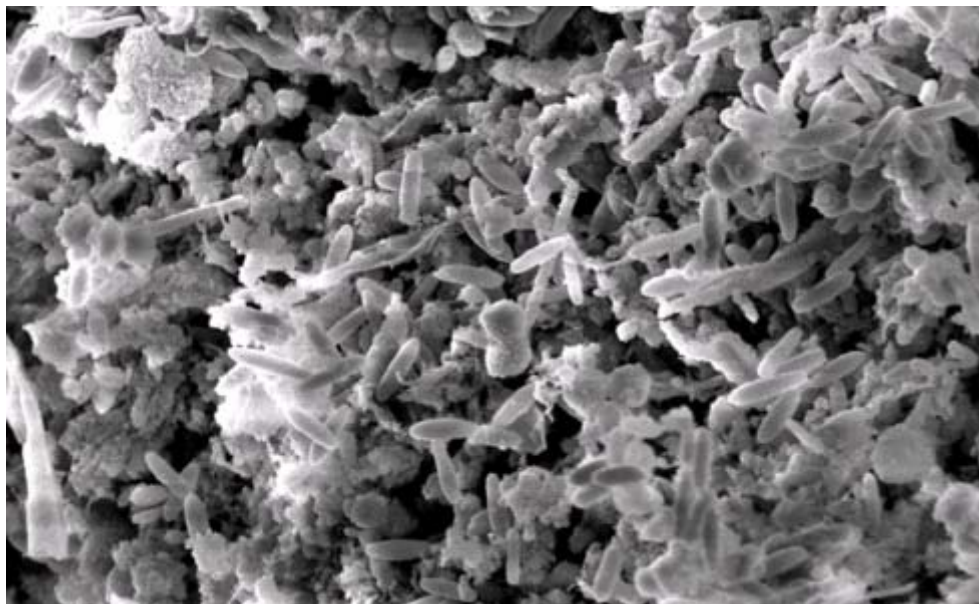
13.1 Aerobní fáze

V této fázi dochází k rozkladu makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek (bílkoviny, uhlovodíky, tuky, celulóza, polysacharidy, lipidy) pomocí enzymů na nízkomolekulární látky jako jsou jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda. Tento proces se nazývá také hydrolýza.

Fáze aerobní se nazývá proto, protože dochází ke spotřebovávání kyslíku aerobními mikroorganismy. Probíhá zcela za přítomnosti kyslíku. V tomto úseku procesu dochází sice ke mnoha složitým dějům, přesto tato fáze není pro odbornou veřejnost moc zajímavá. Poměrně rychle po uložení na skládku ustává, trvá jenom několik dnů, maximálně několik

týdnů. Dojde totiž k vyčerpání kyslíku a následkem toho ke zhutnění odpadů. Tato fáze je však důležitá tím, že je těleso skládky zahříváno exotermními procesy, což zvyšuje teplotu skládky, tzn. zlepšuje podmínky pro vývoj bioplynu.

Hlavním plynným produktem je CO_2 .



Obr. 10: Hydrolytické bakterie, které rozkládají organické polymery na kyselinu octovou, H_2 , CO_2 , jiné jedno uhlíkaté látky, organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol.

Zdroj: <http://www.preciseenergy.com/biosystem.htm>

13.2 Kyselinotvorná (acidogenní) fáze

Dochází postupně k úplnému vymizení kyslíku a je samovolně zahájena kyselinotvorná fáze. Tato změna však nenastává najednou, nýbrž postupně. V tomto ději působící kyselinotvorná společenstva jsou anaerobně fakultativní tzn. procesy mohou probíhat i za přítomnosti vzduchu. Tučky, celulóza a proteiny jsou nejprve odbourávány na aminokyseliny, mastné kyseliny a jednoduché cukry, které jsou v následujících krocích odbourávány na mastné kyseliny o 2-4 uhlících (octová, propionová, máselná).

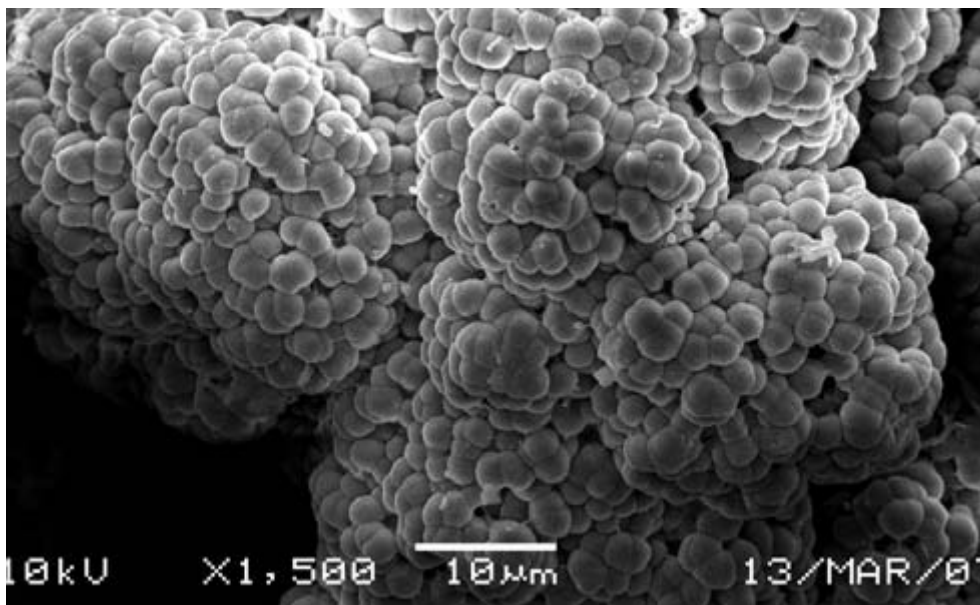
V průběhu kyselinotvorné fáze klesá postupně pH prostředí z hodnot 6,9 – 7,1 až na hodnoty okolo 6,4 i nižší, přičemž opětový finální vzestup pH na konci této fáze dosáhne pouze hodnot okolo 6,5 – 6,6. V plynných produktech kyselinotvorné fáze se vedle CO_2 objevují také malá množství vodíku, který je pro četné methanogenní bakterie výchozím substrátem pro tvorbu metanu.

13.3 Nestabilizovaná methanogenní fáze

Tato fáze je v podstatě něco mezi kyselinotvornou fází a methanogenní fází. Záleží zde hodně na tom, zda je či není přítomný kyslík. Je-li přítomen kyslík, fáze se okamžitě zastaví, nebo spíše nepokračuje dále a nedochází k produkci methanu.

Předpoklad pro rozvoj methanogenních bakterií je účinné prokvašení v kyselinotvorné fázi. Další podmínkou pro rozvoj methanu je nárůst pH, neboť kyselá prostředí nejsou pro methanogeny vhodná. Optimální je 6,8 - 7,8 pH. Špatný vliv na methanogeny mají i nadměrné koncentrace mastných kyselin (nad 6000 mg/l) a solí.

V této fázi dochází ke slábnutí acidogenní populace a nárůstu populace methanogenů, vždy však v rovnováze se svými symbiotickými acidogeny. Postupné odbourávání mastných kyselin má za následek pomalý nárůst pH. K přechodu do zcela methanogenní fáze je zapotřebí prostředí striktně bez kyslíku. Pokud se skládka jen nepatrně zavzdušní, např. nedostatečným hutněním, pak se biologické procesy nedostanou dále než k této nestabilizované fázi. Procesy mohou být též narušeny nedostatkem vlhkosti v odpadu, což má za následek jistou „konzervaci“ dosaženého stavu.



Obr. 11: Metanogenní bakterie, které v konečné fázi produkují methan.

Zdroj: <http://www.preciseenergy.com/biosystem.htm>

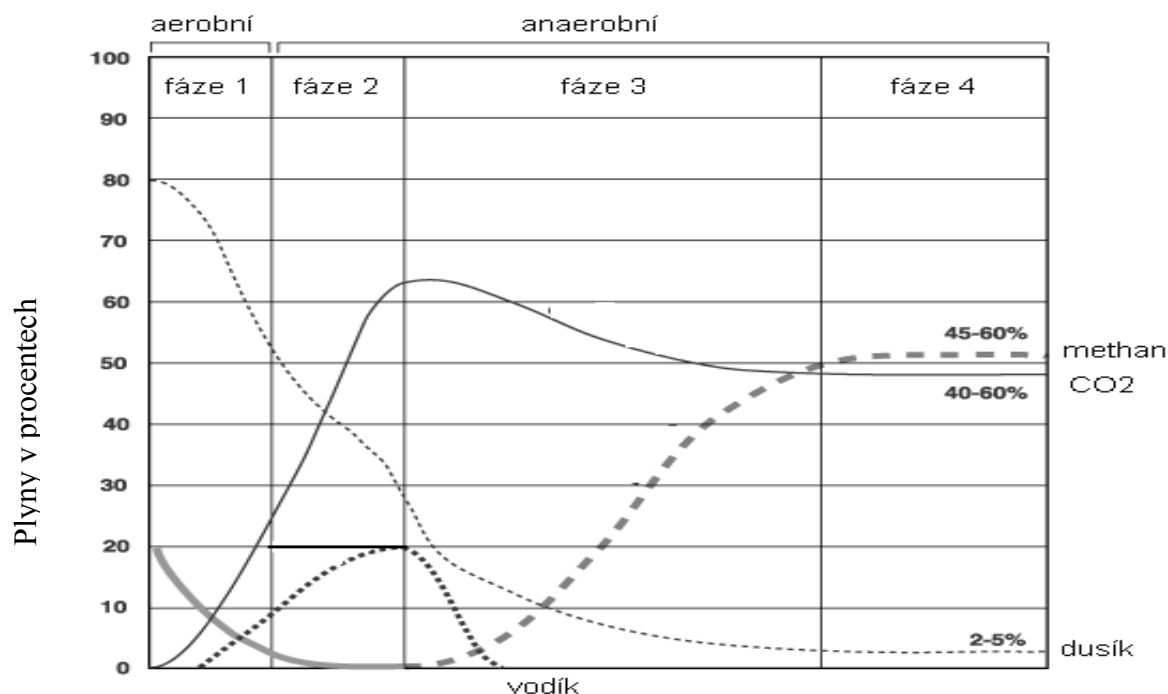
13.4 Stabilizovaná methanogenní fáze:

Po relativně pomalém rozmnožení methanogenních bakterií a poklesu acidity, probíhá stabilizovaná methanogenní fáze rychlostí, jež je úměrná okamžitému množství kvasícího substrátu až do jeho vyčerpání.

Methanogeny mají nižší růstovou rychlost než acidogeny, takže tato fáze probíhá výrazně pomaleji než kyselinotvorná fáze. Tzn. acidogeny přizpůsobují svoji rychlost růstu methanogenům. Záleží však hodně na klimatických podmínkách dané skládky a na druzích vytvořených methanogenů. O dostatečnou tvorbu bioplynu je postaráno již v mezofilních podmínkách, tzn. 19 – 30° C. Většinou se však vytvoří methanogeny termofilní, které obzvláště v hlubokých a dobře odkysličených skládkách vytvoří teploty okolo 60° C někdy dokonce až 75° C. Tyto druhy jsou ještě výhodnější pro tvorbu methanu ve skládce.

I v této fázi, jako v každé jiné u tohoto procesu, s klesající vlhkostí substrátu se zpomaluje nebo dokonce se až zastavuje průběh tvorby methanu. Proces se nemůže dostat do stabilizovaného stádia.

Naopak zvlhčení substrátu způsobí perkolaci kapaliny, která roznáší bakterie do míst dosud nezasažených a tvorba bioplynu prudce stoupá.



Obr. 12: Procentuální podíl plynů ve čtyřech fázích probíhajících při vzniku methanu.

Zdroj: re.emsd.gov.hk/.../landfill/images/image003.gif

14. Složení skládkového plynu

Ve skládkovém plynu se převážně vyskytuje CH_4 , CO_2 a N_2 . Ostatní plynné složky, které jsou přítomny jsou zanedbatelné vůči těmto majoritním plynům a objevují se jen ve zlomcích procent. Ve zcela výjimečných případech se v plynu může objevit vodík a to pouze v počáteční fázi a maximálně v desetinách až jednotkách procent. A samozřejmě v plynu můžeme zpozorovat již několikrát zmíněný kyslík, který je ale hned ze začátku spotřebován.

Za modelový plyn vytvořený ve skládce se považuje toto složení:

60 – 75 % obj. methanu

40 - 25 % obj. CO_2

V praxi je tento plyn ještě rozředěn dusíkem. Optimální je, když dusík dosahuje hranice 3 %. Setkáváme se ovšem s případy, kdy vzniklý plyn obsahuje až 20 % dusíku. Z dosti vysokým procentuálním podílem CO_2 v plynu, a to někdy až 40 % se vytváří zřejmě nejen působením některých mikrobiálních kultur. Nýbrž i plyny z acidogenních procesů a též bakteriálním vydýcháváním nasátého vzduchu.

Skládkový plyn tak může obsahovat methan v dosti velkém rozptylu. Prakticky od nuly až do 75 % obj. Za nedostatečně rozvinutý methanogenní proces lze považovat plyn s obsahem jen 40 % obj. U skládek nejméně 4 metry hlubokých, dobře zhutněných a dosti zvlhčených s vysokým podílem komunálních odpadů, nalézáme plyn obsahující více než 50 % obj. methanu. Běžné rozmezí obsahu jednotlivých majoritních složek je pro typické skládkové bioplyny přibližně tato:

CH_4 50 – 70 % obj.

CO_2 22 – 40 % obj.

N_2 0,2 – 25 % obj.

U skládek se často provádí analýzy těchto minoritních plynů. A to z několika důvodů. Jednak jsou nositelem zápachu. V jiných případech jsou sledovány jak přímé emise, které skládky vypouštějí do ovzduší při odvětrávání, tak potencionální emise po zužitkování vytěženého plynu.

Zvláštní pozornost se věnuje halogenovým uhlovodíkům, které ve skládce vznikají zřejmě z narušených plastů. Zajímavá je proměnlivá hodnota H_2S . Bylo zjištěno, že u mladých a mělkých skládek je jeho množství velké. Oproti starším skládkám s intenzivně vyvinutými methanogeny, kde někdy dosahují až nulové hodnoty. (František Straka: Metody likvidace a energetického využití odpadů).

Za normálních podmínek v průběhu vývoje methanu je obsah vodíku minimální, okolo 0,01 – 0,05 % obj. Jakmile nacházíme 0,05 – 1 % obj. znamená to, že je dosud aktivní kyselinotvorná fáze a potvrzuje to menší obsah methanu.

Dále obsahuje vytvořený plyn ze skládek různé množství vodní páry. Toto množství je určováno velikostí teploty v tělese skládky, stupněm rozvoje methanogenních bakterií a vlhkostí odpadů. Skoro vždy jde o dosti vysoké relativní vlhkosti okolo 90 – 98 %.

Kromě výše uvedených látek se dále ve velmi malých množstvích mezi minoritními složkami skládkového plynu objevují uhlovodíky, alkoholy, halogenuhlovodíky, aldehydy, ketony, estery, mastné kyseliny a mnoho dalších látek, jako např.: hexany, heptany, benzen, naftalen, alkylbenzeny, atd.

Zde uvádím dvě zkratky, které se používají v souvislosti s délkou výskytu látek ve skládce:

TLV – Treshold Limit Value – nejvyšší koncentrace pro pobyt 8 h denně/ 5 dní v týdnu

STEL – Short Term Exposure Limit – max. 15 min/4x denně

Při zkoumání minoritních složek odborníci soustředí na případné kontaminace skládkového plynu rtutí nebo jejími sloučeninami, mikroby nebo viry. Nebyly však zjištěny žádné případy znečištění tohoto druhu při zpracovávání a skladování skládkového plynu, jak uvádí publikace Metody likvidace a energetického využití odpadů autora Ing. Františka Straky. Rtuť se nacházela v kontaminacích o tři řády menších než jsou povolené limity, viry nebyly nalezeny vůbec a z bakterií pouze v nízkých koncentracích indikační streptokoky.

Samozřejmě se může stát, že se některé látky vyskytnou ve vyšších hodnotách než jsou pro ně povolené normy. To ale jenom z důvodů, že byly na skládku buď nedopatřením nebo nepozorností navezeny s nepovolenými průmyslovými odpady (barvy, ředidla, ...).

Co se týče porovnávání úniku koncentrací chloru nebo fluoru při přímém spalování odpadů nebo po spalování skládkového plynu vychází mnohem menší koncentrace ze spalování skládkového plynu.

Množství chlorovaných uhlovodíků sledujeme, abychom zabránili poruchám plynových motorů.

14.1 Vlastnosti bioplynu

Bioplyn je vysoce hodnotný nositel energie, to znamená, že může být mnohostranně a velmi účinně užit. Především pro vaření, vytápění, přípravu teplé vody, výrobu elektrického proudu a ještě další jiné činnosti. Jeho výhřevnost závisí od množství v něm obsaženém metanu, které leží mezi 5,5 a 7,0 kWh/m³, v průměru okolo 6,0 kWh/m³. Tabulka, která nám přináší srovnání nejdůležitějších spalovacích parametrů svědčí o tom, že bioplyn má v poměru k objemu podstatně menší výhřevnost než zemní plyn, propan nebo metan, ale zase dvojnásobně větší než vodík.

S hustotou 1,2 kg/m³ je bioplyn lehčí než vzduch takže nemůže proudit dole u podlahy nebo v prohlubních, třeba jako těžší propan. Naopak, při stoupání se velmi rychle mísí se vzduchem, čímž se zmenšuje nebezpečí hoření nebo výbuchu. To, ale neznamená, že při manipulaci s ním nemusíme být ostražití. Zapalovací teplota je relativně vysoká - 700°C, což je z bezpečnostního hlediska rovněž příznivé.

Bioplyn vykazuje rovněž velmi pomalé šíření plamene. Maximální rychlost šíření ve vzduchu je 0,25 m/s, což je podmíněno příměsí CO₂. Kromě těchto všech vlastností má i značně úzkou mez zápalnosti, což znamená, že hoří jen tehdy, když podíl plynu ve směsi plynu a vzduchu činí 6 až 12%. Ve srovnání s tím má propan a vodík širší hranice zápalnosti, z čehož vyplývají větší bezpečnostní rizika.

Teoreticky činí potřeba vzduchu k dokonalému shoření (stechiometrický poměr) 1m³ bioplynu 5,7m³ vzduchu. V praxi je ale potřeba vzduchu o trochu více a to asi o 20 až 30%, neboť docílit ideální směsi plynu a vzduchu ve spalovači nebo motoru je sotva možné.

Tab. 1: Tabulka srovnání nejdůležitějších spalovacích parametrů bioplynu a jiných energetických plynů.

Plyn		Bioplyn	Zemní plyn	Propan	Metan	Vodík
Výhřevnost	kWh/m ³	6	10	26	10	3
Hustota	kg/m ³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Hustota v poměru k hustotě vzduchu		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Zapalovací teplota	°C	700	650	470	650	585
Max. rychlost postupu plamene ve vzduchu	m/s	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Rozsah zápalné koncentrace plynu ve vzduchu	%	6 až 12	5 až 15	2 až 10	5 až 15	4 až 80
Teoretická potřeba vzduchu	m ³ /m ³	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

14.2 Skladování

Bioplyn má ve srovnání se sluneční energií a energií větru tu výhodu, že proudí rovnoměrně a navíc je možné jej skladovat. U tepla a elektrické energie ze slunce a větru dochází k velkým teplotním a tepelným ztrátám při vedení v zásobníku nebo ztrátám energie při samovybíjení akumulátoru.

V případě bioplynu se dá jeho energie v chemické podobě skladovat bez problému po dlouhý čas beze ztrát. Další předností je vysoký obsah vodíku v metanu, jehož 4 atomy se ve vzduchu s kyslíkem spalují na 4 molekuly vody, zatímco jenom jeden atom uhlíku se spaluje na jednu molekulu oxidu uhličitého, což je příznivé pro životní prostředí. Jeho nevýhodou je malá energie v poměru k objemu. V 1 m³ je obsaženo zhruba stejné množství energie jako v 0,6 – 0,7 l topného oleje.

Velikost plynojemu se určuje pro každé zařízení zvlášť. Využíváme-li bioplyn pro výrobu tepla, je zásobník dimenzován na skladování plynu za jeden den. Při využívání

bioplynu na elektrickou energii není třeba tak velkého zásobníku. Zcela si vystačíme s velikostí, která pojme jen 20-50% produkce plynu za den.

15. Tvorba bioplynu ve skládkách TKO

Jako jedna z možností získávání energie z alternativních zdrojů je v posledních letech využíváno bioplynu ze skládek odpadů. Z hlediska ochrany životního prostředí se jedná o relativně výhodnou surovinu, neboť ve srovnání s fosilními zdroji energie jako např. uhlí nebo ropa dochází k výrazně nižšímu úniku emisí síry a methanu do ovzduší.

Využívání skládkového plynu je podmíněno celkovým efektem, takže úspěšná realizace projektů tohoto rázu závisí na vztahu dostupného výkonu skládky a celkových nákladech uživatelského systému.

Průzkum těžby a úpravy plynu ze skládek odpadů realizovaných v různých zemích během posledních 30-40 let prokázal výborné výsledky i výhodné ekonomické parametry tohoto způsobu získávání energie, a tak vznikla na tomto základě nová technologie na zpracování odpadů, která s minimálními investičními náklady produkuje vysoce kvalitní energii.

15.1 Metody průzkumu skládek

Hned na začátku je nutné si zodpovědět několik otázek, je-li těžba plynu ze skládek vůbec výhodná. Nejdůležitější je vědět:

- Kolik plynu skládka poskytne?
- Jaké bude mít tento plyn složení?
- Jak dlouho může skládka plyn poskytovat a jaké množství plynu s postupujícím časem?
- Kolik čerpacích vrtů je třeba udělat, jaká je maximální výtěžnost jednoho vrtu?
- Jaké stopové příměsi, jakou teplotu, jakou vlhkost bude vytěžený plyn mít?



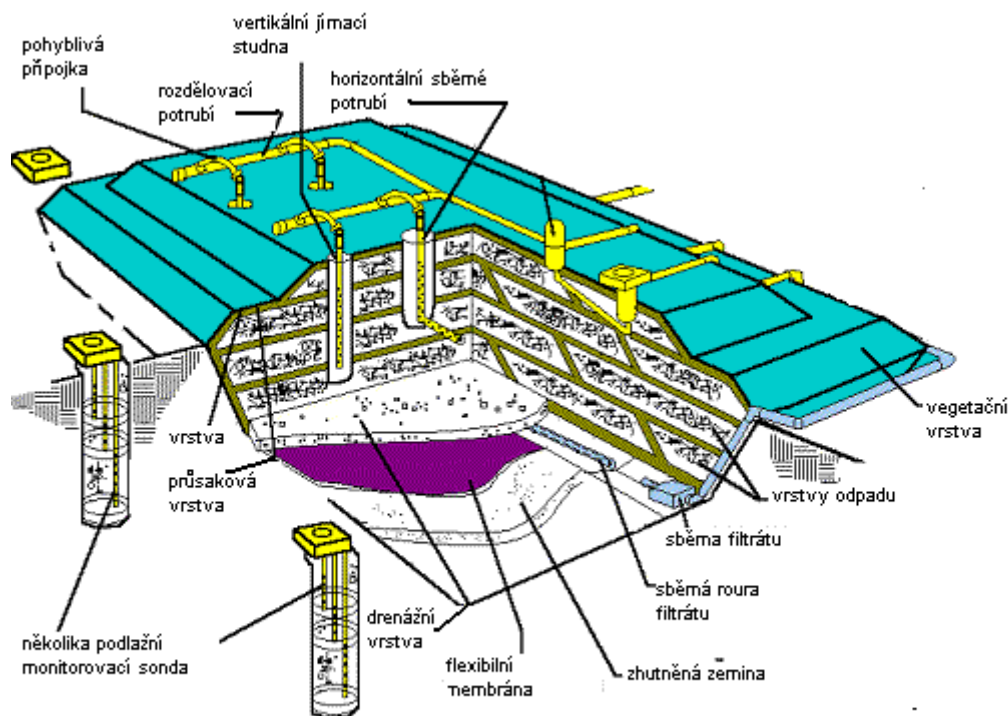
Obr. 13: Kompaktor, který se na skládce snaží odpad co nejvíce zhutnit, aby docházelo v 1. fázi k co nejmenším aerobním procesům.

Zdroj: http://www.landfill-site.com/html/landfill_machinery_0.html

Podle základních údajů o množství a složení skladovaného odpadu lze na výše položené otázky odpovédět jen s velkou obtíží a nepřesností. Zdaleka nejdůležitější veličinou, kterou je vhodné se řídit je okamžitá, měrná produkce plynu jako střední hodnota množství vzniklého plynu z tuny odpadu za hodinu. Tato veličina ukazuje nejen dostupnou kapacitu zdroje, ale také lze z ní vymodelovat pokles výkonu s dobou využívání. Avšak množství methanu lze z těchto výpočtů získat je velmi obtížně.

Obecně se setkáváme s několikanásobně vyššími odhady teoretického množství, než nakonec v praxi ze skládky získáme. Tento fakt způsobuje zejména velká odlišnost ve vlastnostech jedné skládky od druhé. Mezi faktory, které nelze předem vyspecifikovat, ale které ovlivňují charakter skládky, patří např.:

- Rychlost ukládání a stáří odpadů
- Druh odpadů a proměnlivost jejich složení
- Přítomnost toxických látek nebo látek negativně ovlivňujících vývoj methanogenních organismů
- Stupeň zhutnění skládky
- Hloubka tělesa skládky
- Vlhkost odpadů a zvlhčení skládky
- Rozsah a intenzita počátečního aerobního rozkladu odpadů



Obr. 14: Profil skládky komunálního odpadu, která je vybavena jímacím systémem.
Zdroj: http://www.nstengineers.com/Landfill_Gas.htm

15.2 Předběžný povrchový průzkum a polní čerpací test

Je snad jediná spolehlivá metoda, která je schopna poskytnout dostatek předběžných informací, zda-li je či není výhodné začít čerpat plyn ze skládky.

Tato metoda spočívá na provedení průzkumných vrtů, aby se dalo zjistit, zda a do jaké míry je skládka aktivní a vytváří metan.

A to především u starých skládek, kde je zcela nemožné dohledat, natož tak odhadnout množství a složení skládky. U skládek nových, již vedených pod přísnými pravidly skládkování a vybavených moderními prvky (jako je izolace a sběrný drenážní systém), je mnohem jednodušší vlastnosti skládky odhadnout.

Tyto předběžné testy mají pro mnohé provozovatele skládek velký význam, jelikož se někteří mylně domnívají, že pouhá tonáž deponovaných odpadů znamená hned dostatečné množství vývoje plynu pro ekonomické využití. Některé malé skládky, obsahující velké množství biologicky odbouratelných odpadů produkují spolehlivěji a více plynu než mnohem větší, ale procentuálně s více inertním odpadem zavezené skládky.

Tato metoda poskytuje již dostatečné údaje, které je třeba použít při projekci čerpacího a zpracovacího testu. Nelze ale ani vyloučit, že ve skládce nakonec nebude dostatečné množství plynu pro jeho využívání, které získané údaje z polního čerpacího testu ukazovaly.

Je třeba před zkouškou zhotovit nejméně tři plno provozní široko profilové vrty, na kterých se test provádí. Vrty se rozmisťují tak, aby vyhovovaly požadavkům polního testu, ale zároveň tak, aby mohly být následně použity pro plný provoz. Součástí těchto prací je také sledování veškerého materiálu, který je z vrtů vynášen a provádění měření teplotního profilu po celou dobu vrtání. Průměr vrtů je 600 – 1000mm.



Obr. 15: Průzkumný vrt do skládky.

Zdroj: <http://www.recltd.co.uk/Sonic-Drilling.htm>

Vyhodnocení předběžného povrchového průzkumu skládek

Podle výsledků nenáročného povrchového průzkumu se skládky zařadí do některé z následujících kategorií:

1. Skládky neaktivní

Tvorba metanu je velmi malá někdy až nulová. Skládky tohoto typu je možno bez problémů vrátit do půdního fondu, bez nějakých zvláštních degazifikačních opatření. Avšak nedoporučuje se ani na těchto typech skládek výsadba stromů, či hluboko kořenících rostlin.

2. Skládky málo aktivní

- Skupina s degresivní prognózou

Skládka vytváří málo methanu, jelikož je:

- příliš mělká
- příliš porézní, málo hutněná
- příliš zředěna inerty
- intoxikovaná
- příliš stará

Takovéto skládky se buď hned rekultivují nebo se odplyňují ventilačními vrty. Podle složení plynu se ventily nechají buď volně otevřené nebo se zaústí do rašelinou či kompostem plněných biofiltrů.

- Skupina s progresivní prognózou

Skládka je málo aktivní, poněvadž:

- je mělká a úzká
- příliš porézní, či málo zhutněná
- odpad je příliš mladý
- odpad je příliš suchý

15.3 Jímání

Odplynění skládky má zabránit hromadění skládkového plynu, který by mohlo mít za následek porušení izolační bariéry skládky (foliové nebo jílové) a předejít jeho úniku či výbuchu. Systémy odplynění skládek jsou v zásadě dvojího druhu:

- A. PASIVNÍ SYSTÉMY - Plyn vychází ze skládky samovolně, vlastním přetlakem.
- B. AKTIVNÍ SYSTÉMY - Plyn je ze skládky odsáván pomocí odsávacího zařízení, většinou dmyhadla. Podtlak ve skládce však musí být udržen na hladině, která zaručuje, že skládka nebude aerobizována (nebude přisávat okolní vzduch).

Součástmi odplyňovacích systémů jsou sběrná potrubí, tvořená drenážemi, které jsou většinou realizovány perforovanými trubkami z tvrzeného polyethylenu. Drenáže jsou ve skládce vedeny vodorovně a svisle (studny). Potrubí drenáže může být obsypáno vrstvou šterku (kačírku), aby byla zajištěna poréznost okolí a nedocházelo k ucpávání trub odpadem. Svislé vedení je navíc vloženo do pevné, většinou kovové trubky, která zabrání přerušení vedení v případě horizontálního posuvu vrstvy odpadu.

15.4 Čištění bioplynu

Jedna z metod, která se zatím moc nepoužívá, jsou keramická molekulární síta. Ty umožňují vyrábět z bioplynu čistý metan, a to odfiltrováním oxidu uhličitýho, vodní páry a sirovodíku. Síta se od usazenin čistí profouknutím.

Další metodou je ochlazení bioplynu pomocí chladicího agregátu, čímž se rovněž odstraní voda a škodlivé plyny. Tato metoda se praktikuje stále častěji, protože jsou více chráněny bioplynové motory před opotřebením. Často se totiž stává, že po několika týdnech motory přestávají fungovat. Zejména z důvodů poškození kluzných ložisek klínového hřídele, ojenice a čepu pístu. Bývají totiž zhotoveny z barevných kovů, které jsou napadány látkami obsaženými v bioplynu ve stopovém množství a jejich účinky jsou zatím málo prozkoumány. Za hlavního viníka je považován amoniak. Při ochlazení v ocelovém výměníku na teplotu 0° až 5° C se zkondenzuje největší množství vodní páry. Při teplotách plynu okolo 35° C a 100 % vlhkosti se odlučuje zhruba 35g vody na 1m³ bioplynu. Vycházíme i z toho, že spolu s vodou se odlučují také ve vodě rozpustné stopové plyny, jako například čpavek, sirovodík a rovněž aerosoly. Všechny ostatní dosud odzkoušené metody úpravy plynu vykazují horší výsledky.

15.5 Kogenerace

Kogenerační systém je systém, který současně produkuje výkon (elektrický nebo mechanický) a kogenerační teplo (např. k ohřevu vody) ze stejného paliva v jednom termodynamickém procesu. Umožňuje zvýšení účinnosti využití energie paliv.

Při kogeneračním procesu je odpadní teplo výhodně využíváno k ohřevu teplé vody, vytápění a podobným účelům. Lze tak dosáhnout přibližně 80% tepelné účinnosti vztažené na energetický obsah výhřevnost paliva. Proto kogenerace může být jednou z cest snižování emise skleníkových plynů lepším využitím primárních paliv. Tzn., že stačí méně paliva k vyprodukování stejného množství tepla.

Nejpoužívanější kogenerační technologií jsou parní a plynová turbína.

Parní turbína je točivý tepelný stroj, přeměňující kinetickou energii a tepelnou energii proudící páry na mechanický rotační pohyb přenášený na osu resp. hřídel stroje.

Plynová turbína je tepelný stroj, který mění tepelnou energii plynů na mechanickou práci. Pracovní látkou jsou ohřáté plyny nebo spaliny, vznikající v jiných strojích, přivedené do plynové turbíny. Plyny při průchodu turbínou odevzdají jejím lopatkám svou kinetickou energii.

15.6 Motory pro bioplynový provoz

Hlavním problémem při výrobě elektrického proudu z bioplynu je najít motor, který by splňoval následující požadavky:

- nízká cena umožněná sériovou výrobou
- dlouhá životnost i při plné zátěži a stálém provozu
- jednoduchá údržba a dobrá přístupnost k součástem vyžadujícím údržbu
- rychlá dostupnost náhradních dílů
- malá hlučnost a malé emise výfukových plynů
- odolnost vůči vlhkosti a stopovým látkám v bioplynu

Ne vždy je takovou kombinaci podmínek lehké najít. Je tedy nutné dělat kompromisy. Zejména požadavky nízké ceny při dlouhé životnosti a dobré účinnosti lze těžko najít.

V současné době se na bioplynových stanicích nejčastěji používají plynové zážehové motory, na plynové zážehové motory přestavěné dieselové motory, jakož i dieselové motory se vstřikem zapalovacího oleje. Plynový zážehový motor vyrábí elektrický proud výhradně na bioplyn, popřípadě za nouzového stavu na kapalný plyn. Zážeh je nezbytný z cizího zdroje za použití zapalovacích svíček. Lze použít benzínové motory upravené na plynový pohon a rovněž upravené diesel motory, ty je ovšem třeba vybavit směšovačem plynu a zapalovacím zařízením namísto vstřikovacího zařízení.

Úprava benzínových motorů

Nejdůležitější je při přizpůsobování motorových motorů na bioplyn instalace směšovače plynu v sací části, tak aby se plyn se vzduchem smísil co nejrovnoměrněji. Jelikož bioplyn na rozdíl od olovnatého benzínu nemá žádný chladicí a mazací efekt na sedlo ventilu. Proto by měli být použity motory s opancěrovaným sedlem ventilu.



Obr. 16: Pístový motor poháněný skládkovým plynem.
Zdroj: <http://images.google.co.uk/imgres>

Úprava dieselových motorů

Zde se využívá těžké, robustní konstrukce diesel motorů s jejich kompresí a namísto vstřikovacího zařízení se vestaví zařízení pro zážeh z cizího zdroje a směšovač plynu. Udávaná elektrická účinnost činí až 35%. Tyto motory se u stanic zpracovávající skládkový plyn dobře osvědčily.

16. Závěr

V bakalářské práci jsem se soustředil na vznik, jímání a využití bioplynu ze skládek a také jeho vliv na životní prostředí. Popsal jsem všechny fáze a podmínky, jeho vzniku. Práci jsem začal obecně problematikou skládkování, tzn. druhy izolací, vyjmenoval jsem stručně také typy skládek.

V samostatné kapitole jsme se zmínil o bioplynu a jeho vlastnostech. Bez povšimnutí jsem nemohl nechat bakterie, ze kterých bioplyn vzniká. V závěru práce jsem se věnoval metodám, které se zabývají podmínkami tvorby plynu ve skládce. Dané téma je poměrně aktuální vzhledem k úsporám v energetice a životním prostředí, stalo se dokonce i politickým tématem

17. Literatura

- [1] SHULZ, Heinz. EDER, Barbara. *Bioplyn v praxi: Teorie – projektování – stavba zařízení – příklady*. 1. české vydání. Ostrava : HEL, 2004. 168 s. 80-86167-21-6
- [2] HLAVATÁ, Miluše. *Odpadové hospodářství*. Ostrava: 2004. ISBN 80-248-0737-8
- [3] STRAKA, František a autorský kolektiv. *Bioplyn*. 2. roz. a dopl. vyd., Praha: GAS s.r.o. 2006. 706 s. 80-7328-090-6
- [4] STRAKA, František. *Metody likvidace a energetického využití odpadů*. Praha: 1997. ISBN 80-85122-07-3
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Biogas#cite_note-3
- [6] http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=bakterie
- [7] http://www.bioplyn.cz/at_bioplyn.htm včetně schémat, obrázků, textu
- [8] <http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=1413>
- [9] <http://www.bkc.co.nz/Whoareyou/Homeowner/tabid/136/Default.aspx>
- [10] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>

18. Seznam použitých zkratek

VŠB-TUO	Vysoká škola báňská Technická universita Ostrava
TKO	tuhý komunální odpad
U.S.	United States
ČR	Česká republika
ČSN	česká technická norma
CH ₄	methan
CO ₂	oxid uhličitý
H ₂	vodík
kg	kilogram
kW	kiloWatt
kWh	kiloWattthodina
l	litr
m	metr
m ²	metr čtvereční
m ³	metr krychlový
pH	potential of hydrogen (kyselost)
DNA	deoxyribonucleic acid